

Momento óptimo de muestreo en las estimas de las cargas de contaminantes en el río Alcanadre (Huesca)

Daniel Isidoro¹, Maria Balcells³, Ignacio Clavería⁴, Farida Dechmi²

^{1 y 2} Investigadores, Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA), Avda. Montañana 930, 50059-Zaragoza. ¹ disidoro@aragon.es; ² fdechmi@aragon.es

^{3 y 4} Técnicos, Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA), Avda. Montañana 930, 50059-Zaragoza. ³ mbalcells@aragon.es; ⁴ iclaveria@aragon.es

Resumen

El efecto de los retornos de riego sobre la calidad de las masas de agua receptoras viene definido por la masa de contaminantes que transportan, lo que justifica el interés en establecer las masas de contaminantes (como sales y nitrato) exportadas desde zonas regables. El cálculo de las masas exportadas diariamente como producto de una medida puntual de concentración por el caudal medio diario (procedimiento usual en la red Recor-Ebro, R-E, de la Confederación Hidrográfica del Ebro) puede dar lugar a sesgos según la hora de muestreo elegido en presencia de ciclos diarios de caudal o concentración. Los posibles sesgos en la masa exportada de sales y nitrato debidos a la hora de muestreo se analizaron en el año hidrológico 2011 en el río Alcanadre en Ballobar, una de las estaciones de la red R-E, a partir de los datos de mayor frecuencia de la red SAICA. Se detectaron sesgos significativos en algunas horas para las sales y el nitrato, aunque de muy escasa magnitud (<3%), así como para la de amonio (con mayores diferencias respecto a los valores medios diarios) y se definieron también las horas menos aconsejables para determinar las masas exportadas de sales, nitrato y amonio.

Abstract

The effect of irrigation return flows upon the quality of the receiving water bodies is determined by their pollutant loads, pointing to the interest in establishing the mass of pollutants (such as salts and nitrate) exported from irrigated areas. In the presence of daily cycles in flow or concentration, the estimation of pollutant loads as the product of grab sample concentrations and mean daily flows (the usual method in the Recor-Ebro network of the Ebro Basin Authority) may lead to biased estimates depending on the sampling time chosen. The possible biases in salt and nitrate loads induced by the sampling time were analyzed in the Alcanadre River station (one of the R-E network stations) during the hydrologic year 2011 from the higher-frequency data of the SAICA network. Significant biases were detected for salts and nitrate loads, though very small (<3%), and also for ammonium (with higher differences with the average daily values). The sampling times less appropriate for the estimation of salt, nitrate and ammonium loads were also established.

1- Introducción y Objetivos

El objetivo de la Directiva Marco del Agua (DMA; 2000/60/EC) es alcanzar un buen estado de las aguas en 2015. Con ese fin, la DMA introduce la necesidad de que cada uso del agua contribuya a recuperar, entre otros, los costes relacionados con la degradación de la calidad que ese uso promueve; para lo cual se hace necesario establecer la contribución de los distintos usos a la degradación de la calidad del agua. Es importante, por tanto, desde el punto de vista de la gestión y la aplicación de la

DMA, establecer la contribución de la agricultura de regadío a la contaminación de las aguas, como principal usuaria del agua en la Cuenca del Ebro, como en el resto de España.

Para cumplir con las exigencias de la DMA, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), en colaboración con el CITA, estableció una red de control de los retornos de riego (R-E) que ha permitido establecer las masas de sales y nitrógeno (en los últimos años también de fósforo) exportadas por las zonas regables de los ríos Arba y Alcanadre, los barrancos de La Violada y Valcuerna y la Clamor Amarga a partir de 2005 (CHE, 2006, 2007, 2009, 2011). Dado que el efecto de los efluentes sobre la calidad de las masas de agua receptoras viene definido por su carga de contaminantes (y no por su concentración) el objetivo prioritario de la red ha sido establecer las masas de sales y nutrientes exportadas desde esas zonas regables.

En las zonas regables controladas por la red R-E, las masas de salida de sales y nitrato se han calculado como producto del caudal medio diario en las estaciones de aforo y las concentraciones de sales o nitrato medidas diariamente a las 12:00 hora solar. Este método de estimación asume implícitamente que la concentración a esa hora representa el valor medio diario (ponderado por caudal) de la concentración correspondiente. Sin embargo, en la mayoría de los cauces existe una relación inversa entre el caudal y la concentración de sales (ocasionalmente también de N), así como ciclos diarios (y también de otras frecuencias, como semanal, por ejemplo) en el caudal y las concentraciones, que pueden afectar a la estimación de las masas diarias (Worrall et al., 2013).

Los ciclos diarios de caudal pueden obedecer a causas naturales, como las diferencias en la evapotranspiración a lo largo del día, entre otros (Gribovszki et al., 2010), o al manejo del agua en sistemas regados (Isidoro et al., 2003). Las oscilaciones diarias de temperatura pueden tener un efecto importante sobre las variaciones diarias de la concentración de algunos iones (como la alcalinidad; Neal et al., 2010) y, sobre todo, sobre la concentración de nutrientes dentro de los cauces, a través de procesos biológicos (Heffernan y Cohen, 2010). En los sistemas de regadío, no obstante, las mayores oscilaciones en las concentraciones están asociadas a las oscilaciones de caudal (derivadas especialmente de las prácticas de riego: turnos de riego, horas de riego, duración de los riegos, manejo de las colas de acequias, etc.) y los procesos hidrológicos asociados (Isidoro et al., 2003).

Por otro lado, la CHE dispone desde 1993 del Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (red SAICA; CHE, 2013) que recoge información de determinados parámetros de calidad cada 15 minutos, entre ellos la conductividad eléctrica y la concentración de nitrato y amonio. Esta fuente de información permite (i) establecer las oscilaciones diarias de las concentraciones y su relación con las variaciones de caudal e investigar sobre su origen; y (ii) obtener estimas de las masas exportadas basadas en unas frecuencias muy altas de muestreo que se pueden tomar como valores de referencia para comprobar la presencia de errores sistemáticos con otras frecuencias de muestreo. Dos de las estaciones incluidas en la red SAICA se controlan también a través de la red R-E (Alcanadre en Ballobar nº193 y Clamor Amarga en Zaidín nº225), con lo que en ellas es posible analizar la estrategia de muestreo actual de la red R-E frente a las masas de referencia y establecer también la hora más adecuada de muestreo (para obtener unas estimas de las masas exportadas libres de sesgos).

El objetivo de este trabajo es analizar, de modo preliminar, si las estimas de masa exportada obtenidas como producto del caudal medio diario y un valor puntual diario de concentración presentan algún sesgo relacionado con la hora elegida de muestreo y elegir, en su caso, la hora más apropiada para el muestreo en la estación de aforo del río Alcanadre en Ballobar.

2- Materiales y Métodos

Para este análisis preliminar se han elegido los datos de la estación de la red del Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (red SAICA) de la estación de Alcanadre en Ballobar (nº193) de la CHE del año hidrológico 2011, que también es una de las estaciones empleadas en la red R-E. Las estaciones de la red SAICA recogen datos quinceminutales de conductividad eléctrica a 25°C (CE en dS/m), concentración de nitrato (NO₃, mg/L) y amonio (NH₄, mg/L), pH, temperatura (T, °C), oxígeno disuelto (OD, mg/L) y turbidez (Turb, en unidades nefelométricas de turbidez), y horarios de caudal circulante (Q, m³/s).

A partir de esos datos de la red SAICA se han establecido las masas exportadas de referencia de sólidos disueltos totales (SDT), nitrógeno en forma de nitrato (MNO3) y nitrógeno en forma de amonio (MNH4) como la integración mediante la fórmula de Simpson de los productos caudal-concentración obtenidos cada 15 minutos:

$$M_R = 86.4 \frac{1}{288} \left(C_0 \cdot Q_0 + 4 \cdot \sum_{i=\text{impar}}^{95} C_i \cdot Q_i + 2 \cdot \sum_{i=\text{par}}^{94} C_i \cdot Q_i + C_{96} \cdot Q_{96} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

donde C_i y Q_i son respectivamente la concentración (de SDT, N-NO₃ o N-NH₄ en mg/L) y el caudal (en m³/s) medidos en el i-ésimo cuarto de hora del día comenzando a las 00:00 horas (i = 0) y terminando a las 00:00 del día siguiente (i = 96) y M_R es la masa de referencia para ese día en kg/d.

Como las observaciones de caudal en la red SAICA se tienen cada hora (no cada cuarto de hora), los valores quinceminutales dentro de cada hora se obtuvieron por interpolación entre los valores horarios extremos, a fin de no perder la información de concentraciones cada 15 minutos (lo que se asume aceptable dado el carácter preliminar de este trabajo).

Para las masas de nitrato y amonio, se emplearon las concentraciones instantáneas de la red SAICA; mientras que para la salinidad, los SDT se obtuvieron por regresión sobre la CE:

$$\text{SDT}(\text{mg/L}) = 695.7 \cdot \text{CE}(\text{dS/m}) + 86.4 \quad R^2 = 0.98 \quad n = 14 \quad \text{Eq. 2}$$

ecuación establecida a partir de medidas realizadas en 2007-08 (CHE, 2009).

Como paso previo fue necesario transformar las medidas de caudal horario de la red SAICA en caudales corregidos (después del proceso de actualización de las curvas de gasto rutinario en la CHE). Para ello, se buscaron las relaciones de regresión lineal más adecuadas entre los valores medios diarios de la red SAICA y los caudales correspondientes facilitados por la CHE para la elaboración de masas exportadas de la red R-E, ya procesados. Se encontraron 5 relaciones de regresión para distintos periodos y rangos de caudal (Tabla 1) que permitieron obtener valores corregidos de los caudales cada 15 minutos.

Tabla 1. Ecuaciones de regresión lineal (Y = a + b · X) empleadas para transformar las medidas directas de caudal cada 15 minutos en la red SAICA (X) en caudales corregidos empleados en la red R-E (Y): periodo y rango de caudales (Rango Q) de validez; parámetros de las regresiones (a y b) y coeficiente de determinación (R²) de cada ecuación.

Periodo	Rango Q (m ³ /s)	a	b	R ²
1-18 oct	--	-0.845	0.790	0.998
19 oct-30 nov	--	-1.674	0.883	0.980
1 ene-4 mar	--	-1.476	0.859	0.994
13 mar-17 jun	>11	-4.578	1.063	0.997
5 mar-30 sep	<11	-0.784	0.819	0.997

Se han utilizado únicamente los datos de los días con todas las observaciones disponibles para cada parámetro de calidad (Tabla 2). Aunque el número de observaciones es suficiente para un análisis preliminar, se detecta un menor número de observaciones disponibles para la estación de riego (ER), especialmente para NO_3 y NH_4 .

Tabla 2. Número de observaciones disponibles (97 observaciones completas de concentración y 25 de caudal en el día) para el cálculo de las masas exportadas de SDT, NO_3 y NH_4 en la estación de no riego (ENR), estación de riego (ER) y año hidrológico completo (AH) en la estación del río Alcanadre en Ballobar (nº193).

	SDT	NO_3	NH_4
ENR	77	74	75
ER	69	22	19
AH	146	96	94

El cálculo de la masa diaria basado en una sola muestra de concentración diaria (M_H) (respectivamente MS, MNO3 y MNH4 para las masas de sales, nitrato y amonio) se ha realizado, siguiendo el mismo procedimiento que se emplea en la red R-E, como el producto del valor instantáneo de la concentración en el cuarto de hora H-ésimo (C_H) de SDT, N- NO_3 o N- NH_4 por el caudal medio del día (Q_{md}) y el factor de conversión de unidades necesario:

$$M_H(\text{kg/d}) = 86.4 \cdot C_H(\text{mg/L}) \cdot Q_{md}(\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{Eq. 3}$$

donde el caudal medio diario se ha obtenido por integración de los caudales cada 15 minutos de la red SAICA mediante la regla de Simpson:

$$Q_{md} = Q_0 + 4 \cdot \sum_{i=\text{impar}}^{95} Q_i + 2 \cdot \sum_{i=\text{par}}^{94} Q_i + Q_{96} \quad \text{Eq. 4}$$

Para cada posible momento de muestreo H (96 al día, desde las 00:00 a las 23:45) se establecieron los valores de masa exportada (M_H) de sales (MS), N- NO_3 (MNO3) y N- NH_4 (MNH4) y sus diferencias con la masa media diaria o masa de referencia (M_R). Para cada una de las masas calculadas (MS, MNO3 y MNH4) se dispone de un número de observaciones n en la ER y ENR (Tabla 2) lo que permite establecer el sesgo medio correspondiente a la hora de muestreo H (b_H) para cada masa calculada:

$$b_H = E(M_H - M_R) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [(M_H)_k - (M_R)_k] \quad \text{Eq. 5}$$

(donde k es cada una de las n observaciones disponibles) y la desviación estándar [$s(b_H)$] correspondiente a cada sesgo b_H :

$$s(b_H) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [(M_H)_k - (M_R)_k]^2} \quad \text{Eq. 6}$$

y así obtener el intervalo de confianza al 95% para cada momento de muestreo H:

$$b_H \pm \frac{t_{n-1; 0.95} \cdot s(b_H)}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq. 7}$$

Las horas adecuadas para el muestreo son aquéllas que presentan un sesgo mínimo (b_H mínimo) y no distinto significativamente de 0 y además una dispersión lo más baja posible en torno a M_H [$s(b_H)$ mínimo]. En principio, cualquier hora H con b_H no significativamente distinto de 0 es aceptable para estimar la masa exportada diaria.

Para este análisis es importante determinar las horas más adecuadas para el muestreo, establecer si la hora elegida para el muestreo en la red R-E (12:00 hora solar) presenta o no un sesgo significativo y cuantificar la magnitud de los posibles sesgos asociados a la hora de muestreo. Todas estas determinaciones se han realizado separadamente para la ER y la ENR por el efecto previsible del riego sobre la variación diaria de los caudales y las concentraciones.

3- Resultados y Discusión

El caudal medido en la estación de Alcanadre en Ballobar presentó durante 2011 unos marcados ciclos diarios, más acusados durante la ER que en la ENR (Fig. 1). (Se presentaron también ciclos diarios muy definidos de pH, OD y, obviamente, de T.) Las oscilaciones de NO_3 y NH_4 fueron también mayores en la ER, mientras que las de CE resultaron similares en ER y ENR (Fig. 1; Tabla 3). La magnitud de los ciclos observados en Q, CE y NO_3 fue muy reducida en relación a los valores medios diarios, siempre en torno al 1-3%, mientras que la amplitud de los ciclos en la concentración de NH_4 fue muy superior, superando el 50% del valor medio diario en la ER (Fig. 1; Tabla 3). Dentro de cada día se presenta una marcada correlación negativa entre NO_3 y NH_4 , especialmente durante la ER.

Los ciclos observados en CE, NO_3 y NH_4 presentan un desfase con Q que no se corresponde únicamente con un efecto de dilución (máximo de Q coincidiendo con concentraciones mínimas) tanto en ER como en ENR, apuntando a procesos más complejos. De hecho, las CE máxima y mínima se presentan con un desfase de unas 2 horas con relación al Q máximo lo que puede tener implicaciones sobre la hora más adecuada de muestreo (Fig. 1).

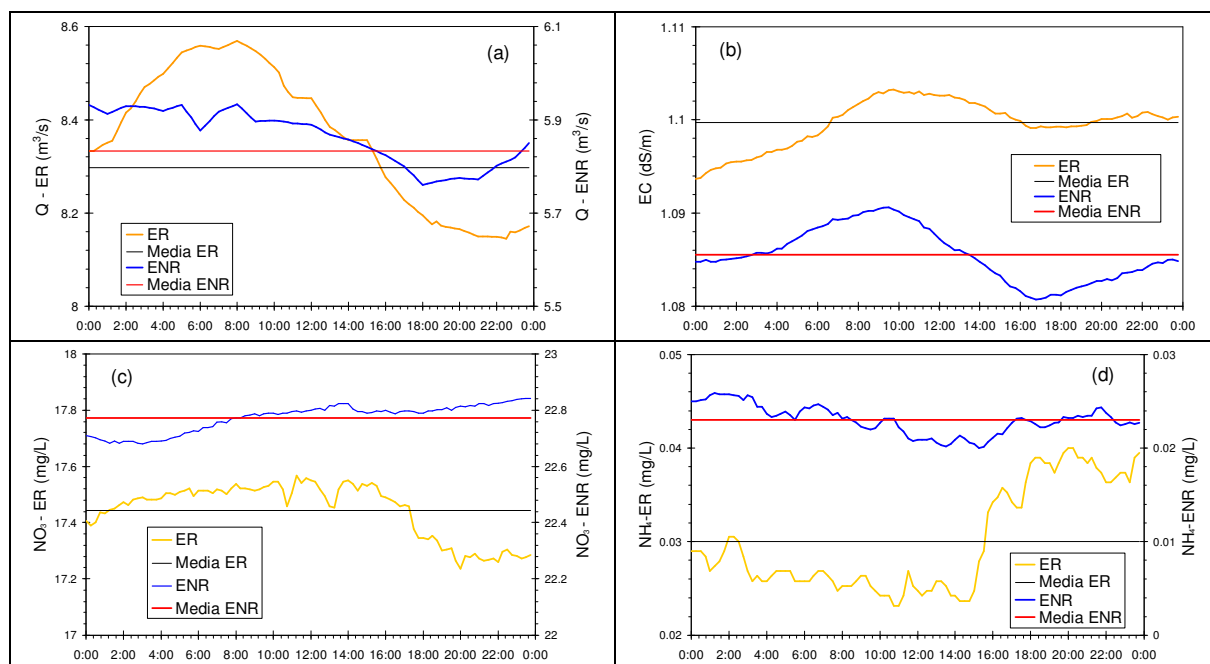


Figura 1. Valores medios cada 15 minutos de (a) caudal, (b) conductividad eléctrica (CE), (c) nitrato (NO_3) y (d) amonio (NH_4) y valores medios diarios (Media) de todas las muestras disponibles durante la estación de riego (ER) y de no riego (ENR) en la estación de aforo del río Alcanadre en Ballobar (nº193) en el año hidrológico 2011.

Tabla 3. Valor medio diario y amplitud media de las ciclos diarios de caudal (Q), conductividad eléctrica (CE), concentración de nitrato (NO_3) y de amonio (NH_4) en la estación de no riego (ENR) y la estación de riego (ER) en la estación del control del río Alcanadre en Ballobar (nº193). Ente paréntesis el % de la amplitud sobre el valor medio diario.

	Media		Amplitud			
	ENR	ER	ENR		ER	
Q (m^3/s)	7.19	8.43	0.18	(2%)	0.27	(3%)
CE (dS/m)	1.09	1.10	0.01	(1%)	0.01	(1%)
NO_3 (mg/L)	22.8	17.4	0.16	(1%)	0.33	(2%)
NH_4 (mg/L)	0.023	0.030	0.006	(26%)	0.017	(56%)

Las masas de sales calculadas para cada momento de muestreo (MS_H , Eq. 3) presentaron también una oscilación diaria derivada de las de Q y SDT, mucho más marcada durante la ENR (Fig. 2). La estima de MS presentó sesgos significativos importantes (de 10:00 a 11:15 durante la ER y de 05:30 a 11:45 y de 14:45 a 20:45 en la ENR) que condicionan la elección de la hora de muestreo, especialmente en la ENR. No obstante, la magnitud de las diferencias de las MS_H con relación a la MS_R no superó en ningún caso el 0.3% en valor absoluto, con lo que el sesgo debido a la elección del momento H de muestreo introduce un error prácticamente inapreciable (despreciable frente a las incertidumbres propias de las medidas de Q, por ejemplo).

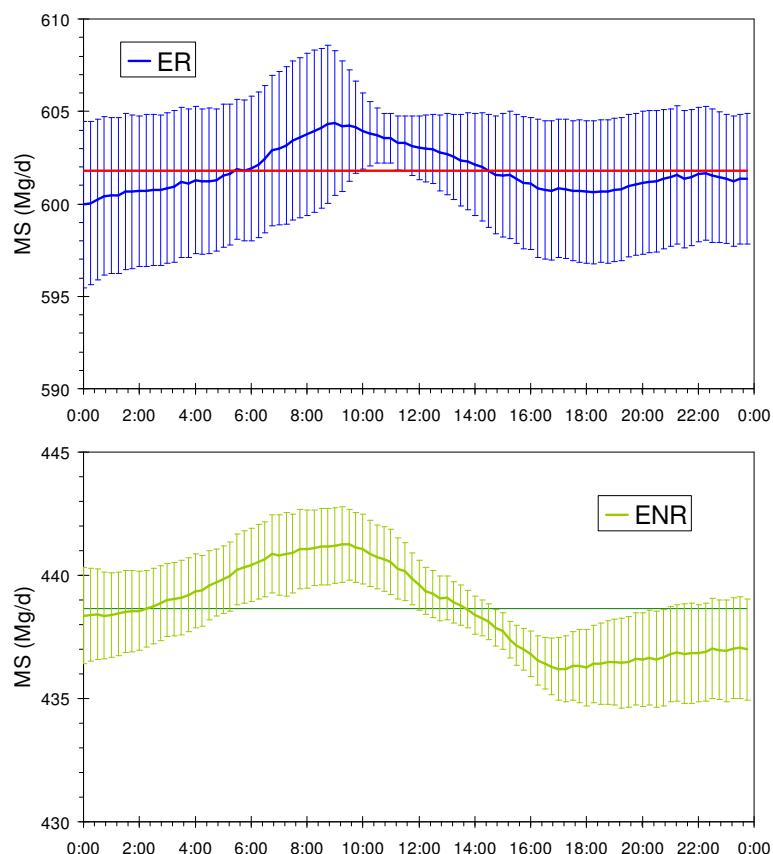


Figura 2. Media de la masa de sales calculada cada 15 minutos como el producto $\text{SDT}_H \times \text{Q}_{\text{md}}$ durante la estación de riego (ER) y de no riego (ENR) en la estación de aforo del río Alcanadre en Ballobar (nº193) en el año hidrológico 2011 con relación al valor medio o masa de referencia. Las líneas verticales presentan el intervalo de confianza al 95%.

Lo mismo puede decirse del cálculo de MNO_3 , con sesgos significativos únicamente de 11:15 a 12:15 durante la ER de magnitud siempre inferior al 1.2% en valor absoluto (Fig. 3). Los ciclos en MNO_3 , tanto para la ER como para ENR, son mucho menos marcados que los de MS (Figs. 2 y 3). Para el cálculo de MNO_3 , el efecto de la hora de muestreo es muy inferior al del cálculo de MS.

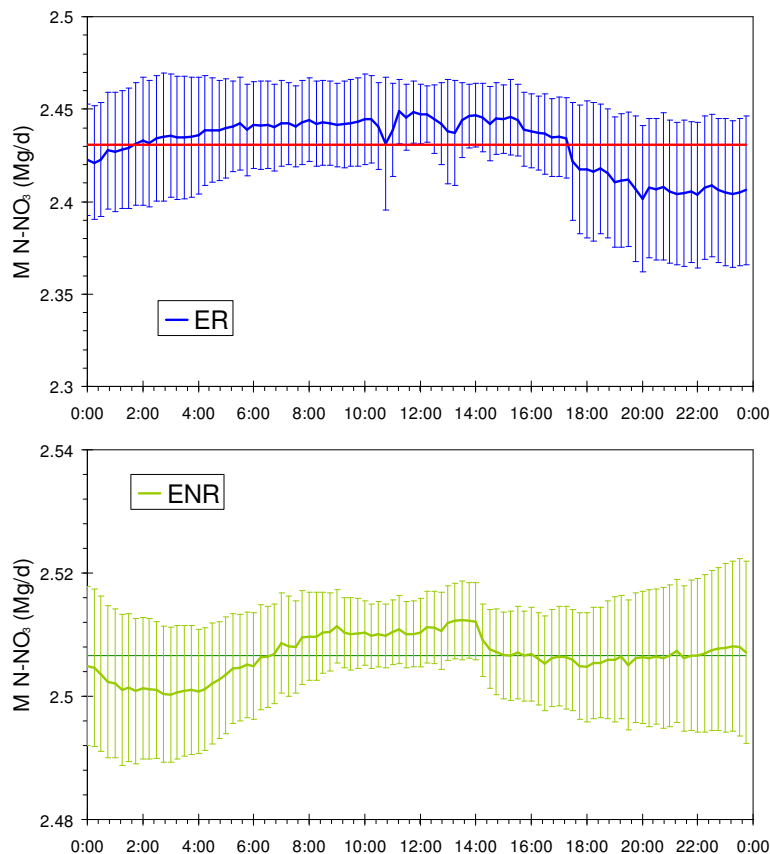


Figura 3. Media de la masa de nitrógeno nítrico calculada cada 15 minutos como el producto $(\text{N-NO}_3)_H \times Q_{md}$ durante la estación de riego (ER) y de no riego (ENR) en la estación de aforo del río Alcanadre en Ballobar ($n^{\circ}193$) en el año hidrológico 2011 con relación al valor medio o masa de referencia. Las líneas verticales presentan el intervalo de confianza al 95%.

La red R-E no contempla el cálculo de la masa exportada de amonio (MNH_4), pero aplicando el mismo análisis que para MS y MNO_3 se determinan sesgos significativos a las 06:45, de 13:00 a 14:00 y de 14:30 a 16:30 durante la ER, sin que haya ninguna hora con sesgo significativo durante la ENR (Fig. 4). Sin embargo, la magnitud de las diferencias entre M_H y M_R para MNH_4 alcanza valores muy superiores a los de MS y MNO_3 (hasta el 24% en la ENR y el 31% en la ER); aunque las masas de MNH_4 son del orden de 1000 veces inferiores a las de MNO_3 (la Fig. 4 se presenta en kg/d mientras que las Figs. 2 y 3 vienen dadas en Mg/d).

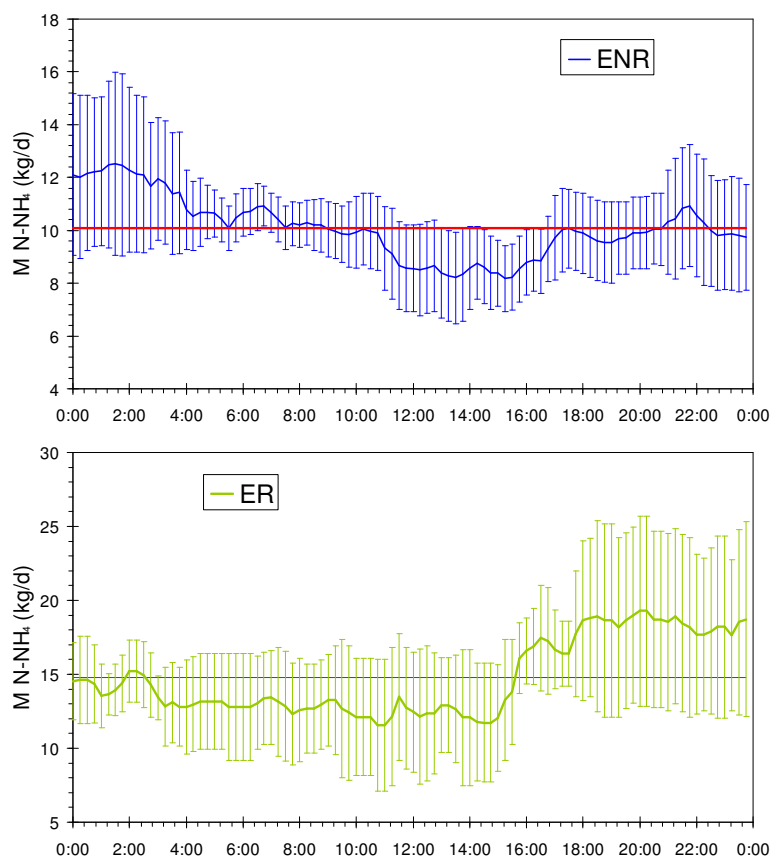


Figura 4. Media de la masa de nitrógeno amoniacal calculada cada 15 minutos como el producto $(N-NH_4)_H \times Q_{md}$ durante la estación de riego (ER) y de no riego (ENR) en la estación de aforo del río Alcanadre en Ballobar (nº193) en el año hidrológico 2011 con relación al valor medio o masa de referencia. Las líneas verticales presentan el intervalo de confianza al 95%.

La hora de muestreo más adecuada para calcular MS, MNO3 y MNH4 debe elegirse de manera que no presente un sesgo significativo y que tenga una desviación respecto al valor medio también reducida. También puede ser un punto deseable que la pendiente de la curva M_H es torno al momento H sea pequeña en valor absoluto (de modo que M_H no varíe rápidamente con el tiempo). A las 12:00 hora solar (muestreo de la red R-E) no se aprecian sesgos significativos en MS, MNO3 (parámetros medidos en R-E) o MNH4. Con estos criterios se pueden elegir las horas más adecuadas de muestreo (Fig. 2, 3 y 4): (1) MS— entre las 13:30 a 15:30 para la ER y entre las 00:00 y las 03:00 para la ENR; (2) MNO3— entre las 01:00 a 03:00 para la ER y prácticamente cualquier hora para la ENR; y (3). Para MNH4— entre las 04:00 y las 11:00 para la ER y entre las 00:00 y las 03:00 para la ENR. Para todas las variables se presentan periodos claros en que la estima puntual se desvía de la masa media diaria y en los que se desaconseja efectuar el muestreo: en particular, durante la ER, de 18:00 a 24:00 para MNO3 y de 16:00 a 24:00 para MNH4.

4- Conclusiones y Recomendaciones

La estación de Alcanadre en Ballobar presenta unas oscilaciones de caudal, CE, NO₃ y NH₄ marcadas a lo largo del día que, en el caso de la masa de sales, deben tenerse en cuenta al elegir la hora de muestreo (para estimar las masas diarias como producto de concentración puntual y caudal medio diario). El efecto de la hora de muestreo sobre la masa calculada resultó más marcado para la masa de sales (sobre todo en la ENR) que para la de nitrato. Este efecto puede ser más importante en cuencas regables más pequeñas, donde las prácticas de manejo tienen un mayor peso sobre el caudal, por lo que debe ser tenido en cuenta en ellas. La concentración de amonio muestra un ciclo diario mucho más acusado que la CE o el NO₃, condicionando la hora de muestreo para obtener la concentración media diaria, aunque tiene un efecto mínimo sobre la masa exportada. El análisis de las variaciones diarias de Q y CE junto con las prácticas de manejo puede arrojar resultados interesantes sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas regadas.

5.- Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón para la “Evaluación del impacto medioambiental de las actividades agrarias en la Cuenca del Ebro” y del proyecto del Plan Nacional I+D+i AGL2010-21681-C03-03. Todos los datos se han tomado del Sistema Automático de Información de Calidad de Aguas (red SAICA) y de la red Recor-Ebro de la CHE.

6.- Bibliografía

- CHE — Confederación Hidrográfica del Ebro, 2013. Red de alerta de calidad. Proyecto SAICA. Disponible en <http://195.55.247.234/redalerta/> verificado en abril de 2013.
- CHE — Confederación Hidrográfica del Ebro, 2011. Evaluación del impacto medioambiental de las actividades agrarias en cinco sistemas de riego de la Cuenca del Ebro, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) para los años 2009-2010, 252 p. Disponible en <http://chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=14417&idMenu=3087> verificado en abril de 2013.
- CHE — Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009. Evaluación del impacto medioambiental de las actividades agrarias en tres sistemas de riego de la Cuenca del Ebro, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) de los años 2007-08, 125 p. Disponible en <http://chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=14417&idMenu=3087> verificado en abril de 2013.
- CHE — Confederación Hidrográfica del Ebro, 2007. Control de los retornos de las actividades agrarias de la Cuenca del Ebro: evaluación de las tendencias de la calidad del agua, control experimental de los retornos y propuesta de red de control, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) del año 2006, 285 p. Disponible en <http://chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=14417&idMenu=3087> verificado en abril de 2013.

- CHE — Confederación Hidrográfica del Ebro, 2006. Caracterización de la calidad de las aguas superficiales y control de los retornos del riego en la Cuenca del Ebro, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) del año 2005, 194 p. Disponible en <http://chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=14417&idMenu=3087> verificado en abril de 2013.
- Gribovszki, Z., Szilágyi, J., Kalicz, P., 2010. Diurnal fluctuations in shallow groundwater levels and streamflow rates and their interpretation –A review. *Journal of Hydrology* 385: 371-383.
- Heffernan, J.B., Cohen, M.J., 2010. Direct and indirect coupling of primary production and diel nitrate dynamics in a sub-tropical spring-fed river, *Limnology and Oceanography* 55, 677–688.
- Isidoro D., Quílez D. y Aragüés R., 2003. Sampling strategies for the estimation of salt and nitrate loads in irrigation return flows: La Violada Gully (Spain) as a case study, *Journal of Hydrology* 271: 39-51.
- Neal, C., Watts, C., Williams, R.J., Neal, M., Hill, L., Wickham, H., 2002. Diurnal and longer term patterns in carbon dioxide and calcite saturation for the River Kennet, south-eastern England, *The Science of the Total Environment* 282: 205-231.
- Worrall, F., Howden, N.J.K., Moody, C.S., Burt, T.P., 2013. Correction of fluvial fluxes of chemical species for diurnal variation, *Journal of Hydrology* 481: 1-11.